

グリーンイノベーション基金事業

「CO₂等を用いた燃料製造技術開発」プロジェクト に関する研究開発・社会実装計画

令和4年1月20日

経済産業省

資源エネルギー庁

目次

1. 背景・目的	3
2. 目標	16
3. 研究開発項目と社会実装に向けた支援	26
4. 実施スケジュール	33
5. 予算	38

1. 背景・目的

- CO₂等を用いた燃料合成技術の重要性と課題解決の方向性
 - 2050 年に向けたカーボンニュートラルへの移行を実現するためには、日本が排出する温室効果ガスの 85%、CO₂の 93%¹を排出するエネルギー部門の取組が重要となり、とりわけ、燃焼しても大気中に CO₂が増加せず、化石燃料の代替となる「脱炭素燃料²」の実装が鍵となる。
 - 「脱炭素燃料」は、水素や燃料アンモニアの他、液体燃料としてのバイオ燃料や合成燃料³、気体燃料としての合成メタン、グリーン LP ガス等が挙げられる。「脱炭素燃料」の社会実装は、海外の化石燃料に依存する我が国のエネルギー需給構造の変革をもたらす可能性があり、エネルギー安全保障の観点からも重要なものとなっている。また、その特性として、既存のインフラを活用することで導入コストを押さえられるとともに、製造技術に関する課題を解決し、製造コストを下げることであれば、社会実装が可能となる。さらに、電化・水素エネルギーへの代替が困難又は限定的となってしまう分野においても、既存の化石燃料からの代替が可能であると考えられる。こうした優位性から、脱炭素社会の実現に向けた多様な選択肢の一つとして、技術開発を促進することが重要となる。商用化レベルでの製造技術を世界に先駆けて我が国企業が確立し、海外各国へ技術や設備、それらの利用に係るノウハウ・知見等を展開することは、世界における「脱炭素燃料」市場の獲得及び CO₂削減に貢献することにも繋がる。
 - また、新たな燃料に対して市場の開発及び獲得にはスピードが課題となってくることから、早期の社会実装を実現するために、政府側からの支援に加えて、事業者のコミットメントも必要と考えられる。
- 本プロジェクトを取りまく現状と課題解決の具体的方策
(液体燃料（輸送用燃料）)
 - カーボンニュートラルを目指す上では、動力源となるエネルギーの脱炭素化が必要となる（輸送用燃料における CO₂排出量は、1.6 億トン）。乗用車については、電動化が商業ベースで進んでいるが、蓄電池や水素は液体燃料に比してエネルギー密度が小さく、特にトラックや船、航空機等の、大型かつ長距離の輸送能力を求められる輸送手段での活用には課題も多い。液体燃料は、こうした電気・水素等と比較して、エネルギー密度が高いという特徴があり、大容量の蓄電池・燃料電池／水素タンクの据置の課題により電動化が困難な、長距離輸送用車両や大型航空機、農業・建設機械などの領域の脱炭素化を実現し得るものである。
 - また、自動車においては、サービスステーション（SS）などの既存の燃料サプライチェーンや既

¹ 出典：総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会（第 33 回会合）（令和 2 年 11 月 17 日（火））
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/033/

² 燃焼しても大気中の CO₂を増加させないバイオ燃料、水素、アンモニア、合成燃料、合成メタンといった燃料

³ 本プロジェクトで対象としている合成燃料は、CO₂から CO に転換し、CO と水素を反応（FT 合成反応）させて作られる液体燃料である。

存の自動車エンジン（内燃機関）が活用可能であり、航空機においては、空港のハイドラント（共同貯油施設）などの施設や既存の飛行機エンジン（内燃機関）が活用可能であるなど、他の新燃料に比べ導入コストを抑えることができるなどの優位性があり、海外でもその製造プロセスの確立に向けた研究開発・実証が進められている。

- こうした輸送用燃料としての利用が想定される液体燃料（合成燃料、持続可能な航空燃料（SAF : Sustainable Aviation Fuel））は、商用規模で一貫製造プロセスが確立されておらず、運輸だけでなく産業・民生分野におけるレジリエンス、エネルギーセキュリティの観点からも重要であるため、将来の有望な選択肢として、商業化に向けた研究開発・実証に早急に着手する必要がある。
- CO₂と水素から製造する合成燃料は、既存技術（化学反応）を組み合わせることで、試験的に製造することは可能であるが、学術的（サイエンス）な観点及びエンジニアリングの観点の両面で、新規の研究開発要素が多分にある。先行して取組が進んでいる海外において、数多くの研究開発や実証プロジェクトが立ち上がっているものの、商用規模で運転をした例は未だにない。このように、商用規模の研究開発においては海外と横並びの状況であるため、合成燃料の早期商用化を目指して、世界に先駆けた製造技術を確認し、インフラ整備等に時間を要する地域も含めた海外各国に対して技術や設備、それらの利用にかかるノウハウ・知見を展開することによって、海外市場を獲得することにつながると考えられる。
- 自動車分野において、電動車の普及には、車両、蓄電池やインフラなど、様々な課題への対応が必要となる。特に、電動化のハードルが高い商用車等については、合成燃料を代替燃料として利用するなど、燃料の脱炭素化の取組も追求すべきである。今後、自動車分野においてカーボンニュートラルを実現する上では、バイオ燃料に加えて合成燃料も、電動車が潜在的に抱えている課題を克服する解決策の一つと考えられる。また、2017年のIEA⁴の分析によると、電動化が世界的な趨勢だが、エンジン車との共存が続く見通しであり、2040年時点においても、乗用車販売に占める84%はエンジン搭載車となっているため、世界的なカーボンニュートラルの実現には、脱炭素燃料の導入が重要となる。加えて、新規の合成燃料開発と合わせた燃料利用技術の最適化を進めることによって、相乗効果による更なるCO₂削減も期待される。
- 現在、石油精製業者に対しては、石油製品の国内需要の減少に伴い、精製設備能力の削減や、削減で余剰となったアセットの有効利用による新規事業への取組が求められている。その中で、合成燃料は既存の燃料インフラが活用可能である点で、水素等、他の新燃料に比べて導入コストを抑えられるため導入のポテンシャルが高く、これまでの事業を継続しながら新たな燃料供給へのチャレンジにつながり、脱炭素化に伴う社会的コストを低減することができると考えられる。
- レジリエンスの観点からは、災害時の燃料配送の継続、立ち往生した自動車への給油といった

⁴ International Energy Agency（国際エネルギー機関）

対応が可能である点、災害機能を有する SS などの既存の燃料供給インフラの活用や既存タンクを活用できる点が期待される。

- さらに、将来的に、国内で工業的に大量生産ができるようになることで、常温常圧で液体という特性を活かし、水素や他の燃料に比べて長期備蓄が可能であるという、エネルギーセキュリティの観点からの優位性も期待できる。
- また、航空分野における CO₂排出量の削減に向けては、航空業界の国際機関である ICAO（International Civil Aviation Organization；国際民間航空機関）において、2021 年以降の CO₂排出量を、2019 年の CO₂排出量（基準排出量）に抑えろとの目標⁵を示しており、CO₂削減効果が期待できる SAF の導入が必要とされている。
- 現在は、COVID-19 の影響により国際航空需要は落ち込んでいるものの、2024 年頃には 2019 年の水準まで回復するとの予測⁶もあり、日本企業による SAF の製造技術の開発、サプライチェーンの確立により、国内のみならず、海外需要の獲得に向けた展開も可能となる。今後、SAF を安定的かつ大量に製造・供給することで、日本企業が世界における SAF 市場において台頭していくことが期待される。
- 現時点では、商用規模で国産 SAF を製造・供給する事業者は存在しないが、海外では極めて微量ながら製造・供給が開始されており、欧米各国では、研究開発支援、製造支援等の予算措置を講じている。しかしながら、今後の世界的な需要増加に対応するためには、コスト低減や製造量拡大などの課題が存在しており、日本が SAF の製造技術をリードすることで、国内外への SAF の供給を実現する。その際、欧米各国ではスタートアップ企業の参画も目立つことを踏まえ、将来的にはスタートアップ企業等との連携も想定して取組を進めていく。
- 将来的には、航空機分野においても、水素や電動化等の技術開発により、小型／短距離輸送用の航空機が登場することが想定されるが、引き続き、国際便をはじめとした大型かつ長距離の輸送能力を要する航空機については、液体燃料の利用が必要である。SAF は合成燃料と比較して、水素を大量に必要としない等の理由で早期の技術確立が可能と考えられるが、いずれの SAF 製造技術にも原料制約が存在するため、航空機分野における主要な脱炭素燃料として、工業的に製造が可能な合成燃料が将来的には必要不可欠となる。今後、どの原料のコストが最も安くなるのか、安定的かつ大量に製造・供給出来るのかについては、日本を含め、世界各国において状況が異なってくると考えられるため、複数の SAF 製造技術を確立する必要がある。
- 本プロジェクトでは、合成燃料については、2040 年までの自立商用化を、SAF については、2030 年頃の自立商用化をそれぞれ目指し、高効率かつ大規模な製造技術を確立するべく、

5 当初は 2019 年と 2020 年の平均値を基準値とすることとしていたが、COVID-19 の影響で 2020 年での国際航空需要が大幅に減少したことから、2020 年における CO₂排出量は加味しないこととされている（2020 年 6 月決定）。

6 IATA（国際航空運送協会、世界の航空会社で構成される業界団体）は、COVID-19 の影響を踏まえ、2024 年には、国際線の需要は 2019 年の水準に回復すると見込まれている。

大規模化に向けた実証を段階的に行う。また、合成燃料については、効率的燃焼とエミッション低減に向けた基盤となる研究を実施することによって、特に合成燃料の導入初期段階で想定される利用者の経済性悪化の緩和や、合成燃料の燃焼による大気環境への影響の緩和などを図り、将来の運輸部門等の脱炭素化に貢献する。

- 具体的には、合成燃料及び SAF の普及のために、少なくとも以下①～⑥の取組が必要であるが、本プロジェクトでは①、②及び③を実施する。

- ①高効率な液体燃料製造を実現する触媒等の研究開発
- ②大規模製造を実現するための製造設備の設計開発
- ③燃料の性状変化や普及初期段階の燃料価格（経済性）に対応できる燃焼技術・排ガス処理技術の高度化の基礎研究及び合成燃料の利用実証
- ④脱炭素燃料としての国際的評価の確立や技術の標準化、CO₂カウントのルール作りなど
- ⑤製造に必要な水素の調達のための国際サプライチェーンの構築
- ⑥脱炭素燃料を製造する国内外の技術の開発状況のフォローアップ

- こうした取組は、将来の再エネ・水素価格の動向や、価格面も含めた合成燃料需要が不確実な中で、民間企業が単独で実施することが困難であることから、国として積極的に取り組む必要がある。
- なお、合成燃料が将来コスト競争力を有するためには、高効率かつ大規模な製造技術を確立する本プロジェクトに加えて、ゼロエミッション電源である再生可能エネルギー等由来水素の十分な導入及びコスト削減、余剰電力などの安価な電力の活用を促進する制度整備が必要不可欠であるため、制度整備との両輪で、国内での社会実装を促していく。

（気体燃料（産業用・家庭用））

- 我が国の産業・民生部門における消費エネルギーの約 6 割は熱需要⁷である。特に産業分野においては、電化による対応が難しい高温域も存在している。また、国内の都市ガス需要は漸増傾向にあり、工業用の増加傾向が全体的な下支えになっている。トランジション期の低炭素化のため石炭・石油から天然ガスに転換する事業者も存在しており、燃料転換の動きは増えていくことが予想される。世界の LNG 需要は 2040 年までに倍増、特に中国・インドなどアジアにおける需要が増加する見通し。このため、2050 年のカーボンニュートラル実現に向けては、熱需要の脱炭素化を実現することが重要であり、需要側に熱エネルギーを供給するガスの脱炭素化が大きな役割を果たす。
- この熱エネルギーとなるガスの脱炭素化に係る有望な手段の一つとして、合成メタンが考えられている。合成メタンは、再生可能エネルギー等由来の水素と、回収した CO₂から合成（メタネーション）することができるため、カーボンニュートラルに資すると考えられる。また、合成メタンは、

⁷ グリーン成長戦略 4.（3）次世代熱エネルギー産業（2021 年 6 月 18 日）

都市ガスの主成分であるメタンの代替として、都市ガス導管等の既存インフラや機器を活用できるため、熱需要の脱炭素化に向けて大きなポテンシャルを有する。

- メタネーション技術としては、水素と CO₂ から触媒反応によりメタンを合成する「サバティエ反応」が知られており、日本が世界で初めてプラントでのメタン合成に成功した⁸。現在は国の事業として、基盤技術開発（詳細は既存事業の項目参照）の段階であり、今後、サバティエ反応によるメタネーション設備の大型化に向けた技術開発が行われていく予定。
- 海外においてもサバティエ反応によるメタネーション技術の基盤技術開発が行われており、世界最大規模のメタネーションプラント（315Nm³/h）は Audi 社が保有しているが、同プラントを建設した ETOGAS 社は、その後 2016 年に日立造船が買収したため、現時点で我が国の技術は海外の技術と同程度だと考えられる。海外においても天然ガスは利用されており、世界の市場獲得を見据えれば、合成メタン製造の技術開発を促進することで、天然ガス需要を合成メタンが代替できる分野において、日本が世界をリードすることができる。
- 他方、サバティエ反応によるメタネーションを活用した合成メタン製造には、①再生可能エネルギー等の電力による水電解から水素を製造し、②その水素と回収した CO₂ からメタンを合成（サバティエ反応によるメタネーション）するといった複数のプロセスを要する。また、②は発熱反応であり、大量に生じる排熱のマネジメントが社会実装に向けた大型化にあたっての課題となっているため、電力投入量 100 に対する合成メタン製造の総合的なエネルギー変換効率は 50%程度と低い。
- 2050 年までに合成メタンの価格を現在の LNG 価格（40～50 円/Nm³）と同水準とするためには、熱マネジメントの課題を解決できる方式であって、合成メタン製造に係る一連のプロセスの総合的なエネルギー変換効率を高めることで、製造システム全体のコストを下げる必要があるため、これを実現する革新的技術の開発が求められる。
- 現時点で高いエネルギー変換効率が期待できる革新的メタネーション技術としては、SOEC⁹／メタン合成連携反応や水電解／低温サバティエ連携反応、PEM 等を用いたメタネーションが挙げられる。SOEC／メタン合成連携反応を用いたメタネーションおよび水電解／低温サバティエ連携反応を用いたメタネーションは、メタン合成の排熱を電解装置へと有効利用することで高いエネルギー変換効率が期待できる。PEM を用いたメタネーションは低温下での反応となり熱マネジメントの問題が小さいため、他 2 者に比べるとエネルギー変換効率は落ちるが、大型化が容易であり、また、工場内オンサイトでの中小型メタネーション利用も考えられるという利点がある。
- これら革新的技術の開発は、先導的研究が終了した段階であり、触媒等の開発が必要となるなど、実用化に向けた目途は立っていない。また、将来の再エネ価格も不確実な中で、民間企業が単独で実施することが困難であることから、国として積極的な支援を講ずる必要がある。

⁸ 第 2 回メタネーション推進官民協議会（2021 年 9 月 15 日）資料 4 日立造船説明資料

⁹ SOEC：固体酸化物形電解素子（Solid Oxide Electrolysis Cell）。固体酸化物形燃料電池（SOFC；Solid Oxide Fuel Cell）の逆機能素子。

- なお、合成メタンの実用化に向けては、技術開発だけでなく、再エネ価格が相対的に安価な海外で生成した合成メタンを国内に輸送すること等が有効と考えられるため、サプライチェーンの構築を進めていく必要がある。また、CO₂のカウントについて、カーボンニュートラルに資する方向での検討が必要となる。これらの課題への取組を推進するため、供給側と需要側の民間企業や政府など、様々なステークホルダーが連携して取り組む「メタネーション推進官民協議会」を2021年6月に設置したところ。熱エネルギーとなるガスの脱炭素化に向けて官民が一体となって取組を推進していく。
- 併せて、全世帯の約4割の家庭に供給¹⁰されるほか、工業用、化学原料用等、多岐に亘る分野を支えるLPガスについては、使用世帯が多い地方での人口減少や高効率給湯機等の省エネルギー機器の普及、家庭用エネルギーの電化によって、需要は減少傾向であったものの、近年は、1,400万トンの需要で推移してきている。LPガスは、導管による系統供給ではなく、ボンベによる分散型供給を行っており、近年では災害時に施設が被災していなければLPガスを利用できるメリットもあって、医療施設や社会福祉施設等で利用が進んでいる。
- 世界のLPガス需給については、中国、インドの消費量が急増¹¹してきているが、これらの国々の一人当たり消費量は、現時点で日本の半分にも満たない¹²ことから、今後は世界のLPガス消費量をけん引していくと考えられる。その一方で、世界の石油生産は今後減少が予測¹³されており、LPガスも石油生産の減少に伴い生産量が減少していくため、需給がタイトになり、長期的にLPガス価格は上昇していくと考えられる。また、LPガス市場として拡大しているアジアにグリーンLPガスを販売することで、新たな海外市場を創出することが期待できる。アジア市場には、近年、日本のLPガス企業が進出を続けており、これらの企業と提携することで、アジアでの販路開拓は円滑に確保できると考えられる。
- LPガス利用で排出されるCO₂の量は、2050年時点で2,400万トン/年と想定され、相殺する場合、1,680億円/年もの費用がかかることになる。他方、家庭用LPガスについては、利用世帯の電化も促進されている。しかしながら、LPガスを利用している2,300万世帯の電化には、推定23兆円もの国民負担を求めることになると考えられる。こうした中、従来のLPガスを非化石燃料としてのLPガス（グリーンLPガスと呼称）に代替する方が、国民への負担が軽くなると期待され、導入の促進も期待できる。
- なお、欧米ではバイオLPガスが少量生産されている。バイオLPガスは、バイオディーゼルを主製品とした生産の過程で、僅かに副生されているもので、この方法ではLPガスの大量生産は困難である。LPガスの生成を主目的とした場合、LPガスをより多く、効率的に生産するための触媒やそれに応じたプラントの設計が必要になってくるが、このようなLPガス生成を主目的とした技術開発は世界的に見ても取組がなされていない状況である。

¹⁰ 全国LPガス保安共済事業団推計

¹¹ 世界LPガス協会 Statistical Review of Global LPG 2020

¹² 世界LPガス協会 Statistical Review of Global LPG 2020

¹³ BP energy outlook 2020

- かつて、2001 年度～2006 年度において、NEDO の補助事業等で LP ガスの代替燃料として水素と一酸化炭素から DME（ジメチルエーテル）を合成する研究が行われていた。当時、100 トン/日の生産能力の実証プラントを建設し、検証が行われたが、DME については、高濃度では、パッキン等のゴムを劣化させる特性があり、漏洩による火災事故につながる恐れがあることから、LP ガスの完全代替はできず、安全に利用する観点から 10%～20%までしか DME を LP ガスに混入できないとの結論に至っている。このような DME の利用方法は、LP ガスの低炭素化に留まるため、LP ガス業界からはグリーン LPG 合成技術の確立が期待されている。
- グリーン LP ガスの生産には、水素と一酸化炭素からメタノールを生成し、メタノール、ジメチルエーテル（DME）、LP ガスの順に化学変化させる製法がある。この製法は合成燃料の生成方法として期待される FT 反応合成よりも低温で合成することができ、合成のための多量の電気は不要というメリットがあるが、現在の触媒では生成率が 30%程度と低いため、生産性の高い触媒や合成方法の開発が必要とされる。また、グリーン LP ガスは、その生産に水素が必要であるため、水素の調達に安価な豪州等の水素生産国で生産することで、大量かつ安価に生産できる可能性¹⁴がある。なお、豪州の褐炭から生産されるブルー水素を原料とする場合は、ブルー水素の製造過程で排出される CO₂は、本来 CCS 処理されるべきものであるため、原料とする CO₂については、別途調達する必要がある。どのような CO₂が原料として利用できるのか今後の国際的な議論も踏まえつつ、検討していく。
- 2030 年の商用化のためには、コア技術となる合成効率が高い触媒開発・合成方法のほか、生産工程でのエネルギー使用の効率化が必要になる。加えて、上述のグリーン LP ガスの製法は合成時に水（H₂O）が副生されるため、反応器や配管などの腐食リスクの管理技術、さらに、反応器に投入される原料に水素と一酸化炭素以外の不純物由来で発生する可能性がある硫化水素等の除去技術といった、生産設備にかかる周辺基盤技術の研究も必要である。
- LP ガス業界は、グリーン LP ガスの研究開発を推進するため、2021 年 10 月に（一社）日本グリーン LP ガス推進協議会を設立し、将来は国内需要の全てをグリーン LP ガスとしていく展望をもっている。
- 上記を踏まえ、CO₂等を用いた燃料の社会実装に向けては、液体燃料・気体燃料のうち、以下の 4 つの脱炭素燃料の導入を進めるため、技術開発を進めていく。

○液体燃料（輸送用燃料）

¹⁴ 豪州の褐炭から製造されるブルー水素をグリーン LP ガスの原料として利用して現地生産した場合、20.4 万円/トンで日本に輸出できると推定される。現在の LP ガスの CIF ベースの輸入価格が概ね 7 万円/トンであるため、まだ、調達コストの差がある。現在の LP ガスの国内サプライチェーンは、輸入会社→卸売→小売→需要家と多層的になっており、各業者での流通コストが発生することもあり、輸入価格 7 万円/トンの LP ガスは小売価格 40 万円～50 万円/トンとなっている。グリーン LP ガスは、この一般の LP ガスの小売価格と価格競争をする必要があり、グリーン LP ガスの製造事業者が需要家に直接販売することで、流通コストがなくなるため、現在の LP ガスの小売価格と価格競争できると考えられる。

- (i) 合成燃料
- (ii) 持続可能な航空燃料 (SAF : Sustainable Aviation Fuel)

○ 気体燃料 (産業用・家庭用)

- (iii) 合成メタン
- (iv) グリーン LPG

● 関連基金プロジェクトと既存事業

➤ 関連基金プロジェクト

- 各燃料の原料となる水素や CO₂を調達するために、CO₂等を用いた燃料に関するプロジェクトとして、「CO₂の分離回収技術開発」や水素関連プロジェクトの「大規模水素サプライチェーンの構築」や「再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造」を検討されている。前者は、CO₂の分離回収に必要な吸収剤等の要素技術を開発し、分離回収を目的としたスケールアップと実ガス実証が行われ、後者は供給設備の大型化を通じた供給コストの削減と両輪で、大規模な水素需要の創出を同時に行うための研究開発を実施する。両プロジェクトで海外水素供給の為のサプライチェーン構築や、水電解装置等を用いた国内水素の製造基盤の確立、CO₂の分離回収技術の開発及び分離回収の低コスト化が進み、プロジェクト間での連携を徹底することで、本プロジェクトに必要な CO₂と水素の十分な原料調達が期待される。

➤ 既存事業

(i) 合成燃料関係

【予算事業】

- 「カーボンリサイクル・次世代火力発電の技術開発事業／CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発／CO₂からの液体燃料製造技術の研究開発事業」(2020～2024 年度、2021 年度予算額 161.5 億円の内数)¹⁵

上記の予算事業では、将来的な合成燃料製造の高効率化を目指し、新しい技術として注目されているもの（共電解技術・Direct-FT）の基礎的な研究を行う（～2024 年）が、本プロジェクトでは、商用化まで見据え、既知の技術として有望なものを活用・改良し、合成燃料製造に係る反応器の設計から、大規模な製造実証に至るまで 10 年かけて一貫して行うもの。前者で得た知見や技術の中で活用できる部分については本プロジェクトの中で活用していくが、両者はターゲットとする技術とそのフェーズが異なる。

¹⁵ NEDO HP : https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100115.html

(ii) 持続可能な航空燃料 (SAF) 関係

【予算事業】

- 「バイオジェット燃料生産技術開発事業」(2017～2024 年度予定、2021 年度予算額 48.7 億円の内数)¹⁶

上記の予算事業では、複数ある SAF の製造技術のうち、生産量は小規模(2030 年時点で数万 KL 程度)であるが、今後、短期間(～2024 年)で一貫製造プロセスの検証を終えられる見込みであり、早期に国産 SAF を製造・供給することが可能な技術を支援している。

一方、2050 年に向けて増大する SAF の需要に対しては十分な量とはいえず、本基金では、2030 年時点で大規模な生産量(年産数十万 KL)が見込めるとともに、将来的に他の原料からの燃料製造にも応用の可能性がある革新的な SAF 製造技術の支援を想定している。

(iii) 合成メタン関係

【予算事業】

- 「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術開発／CO₂有効利用技術開発」(2017～2021 年度、2021 年度予算額 161.5 億円の内数)¹⁷
- 「次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電技術推進事業／CO₂有効利用技術の先導研究(CO₂直接分解)」(2019～2020 年度)¹⁸

上記の予算事業では、8Nm³/h 規模のサバティエ反応によるメタネーション試験装置を設置。実 CO₂を利用したメタネーション技術の基盤技術開発を実施した。実用化に向けて、メタネーション設備の大型化に向けた技術の確立を目指している。

また、上記事業を通じて、SOEC を用いたメタネーションの先導的研究として、SOEC を用いたメタネーションに必要な要素技術として共電解技術やメタン化反応制御技術がそれぞれ成立しうることを確認し、今後取り組むべき課題を明確にした。今後は、それぞれの要素技術の基盤技術開発を進めることが必要。

¹⁶ NEDO HP : https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100127.html

¹⁷ NEDO HP : https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100115.html

¹⁸ NEDO HP : https://www.nedo.go.jp/koubo/EV3_100189.html

- グリーン成長戦略の実行計画における記載（抜粋）

- （１１）カーボンサイクル・マテリアル産業

- ②カーボンサイクル燃料

- ア）代替航空燃料（SAF：Sustainable Aviation Fuel）

- ＜現状と課題＞

- 国際航空に関し、国際民間航空機関（ICAO）により、「2019 年比で CO₂排出量を増加させない」という制度が導入された（制度は 2035 年まで継続）。制度導入により、SAF の市場は、現時点でほぼ皆無だが、着実に拡大する見通しである。

- このため、欧米企業を始めとして、各国企業はジェット燃料の代替燃料の開発を活発化している。複数ある SAF の技術開発については、各国が横並びの競争状態である中で、日本企業は要素技術の開発を進め、実証を開始している。

- SAF の主な製造技術として、ガス化 FT 合成技術¹⁹、ATJ 技術²⁰、微細藻類培養技術²¹等が挙げられる。

- 現状では、これら燃料の製造技術の課題として、ガス化 FT 合成については、様々な原料の品質を均一化する破砕処理技術を、ATJ については、高温状態での触媒反応の制御技術を、微細藻類の培養については、①藻が CO₂を吸収する効率が低く、増殖のスピードが遅い（生産性が低い）、②藻の外部環境への耐性が弱いため、安定的に増殖することが困難（生産の安定性が脆弱）であることを解決する技術をそれぞれ確立する必要があり、小規模な実証段階に留まっている。（現状のニート²²製造コスト 200～1,600 円/L（既製品：100 円/L））

- ＜今後の取組＞

- ガス化 FT 合成技術、ATJ 技術、微細藻類の培養技術等については、上述の技術の確立とコスト低減を実現するための研究開発、大規模実証を実施し、他国に先駆けて 2030 年頃には、コストを現在の 200～1,600 円/L から既製品と同等の 100 円台/L まで低減し、実用化を達成する。

- また、2025 年以降、諸外国においても SAF の製造・供給が進展していくものと想定される。このため、更なるコストの削減、CO₂排出削減に係る研究開発・社会実装を促進し、2030 年における総需要が約 2,500 億円～5,600 億円の規模になると見込まれる国内空港において、国内の製造事業者による低廉かつ安定的な SAF の製造・供給体制の早期の構築を目指す。

- さらに、国際的な航空分野のカーボンニュートラルに向けた潮流において、SAF の需要も大幅に増加する見通し。国内における SAF の供給量と価格の国際競争力を確保することは、海外の

¹⁹ 木くず等の有機物を蒸し焼き（ガス化）し、触媒により液化する工程により SAF を製造する技術（Fischer-Tropsch process（フィッシャートロプシュ法））。

²⁰ Alcohol to jet の略。バイオエタノールを、触媒等を用いて SAF に改質する技術。

²¹ 光合成により、CO₂から油分・脂質を生み出す藻を安定大量培養し、SAF を製造する技術。

²² 化石由来のジェット燃料と混合する前の、バイオマス原料等を基に製造されたジェット燃料を指す。ニートを使用する際には、化石由来のジェット燃料に一定割合を混合した上で、航空機に搭載する必要がある。

航空会社が日本へ就航する大きな経済的・社会的インセンティブとなることから、アジアにおける日本の国際空港の地位向上につながり、ひいては安定的な国際航空ネットワークの構築につながる。

加えて、本技術を海外にも展開し、海外の航空会社が利用する SAF を供給することで、外貨獲得への貢献も期待される。こうした観点から、SAF の国際市場の動向に応じて、航空機へ競争力のある SAF の供給を拡大していく（一部国際認証取得済み）。

イ) 合成燃料

<現状と課題>

合成燃料は、CO₂と水素を合成して製造される燃料であり、排出された CO₂を再利用することからカーボンフリーな脱炭素燃料とみなすことができる。特にガソリン・灯油・軽油等の混合物である液体合成燃料は、複数の炭化水素化合物の集合体、言わば「人工的な原油」である。特に、再生エネルギー由来の水素を用いた場合は e-fuel と呼ばれる。既存の燃料インフラや内燃機関が活用可能であることから、水素等、他の新燃料に比べて導入コストを抑えることが可能となる。

合成燃料は、化石燃料と同様に液体燃料であるため、エネルギー密度が高く、可搬性があるという特徴がある。例えば、大型車やジェット機が電動化・水素化した場合、液体燃料と同様の距離を移動する際、液体燃料よりも大容量の電池・水素エネルギーが必要となる。こうした液体合成燃料は、電気・水素エネルギーへの代替が困難なモビリティ・製品がある限り存在し続けると考えられる。

合成燃料の商用化に向けた課題はコストと製造技術の確立であり、今後、既存技術の高効率化・低コスト化や革新的な新規技術・プロセスの開発に取り組んでいくことが必要である。

<今後の取組>

合成燃料について、2050 年に、ガソリン価格以下のコストが実現できるよう、商用化に向けた一貫製造プロセス確立のため、既存技術（逆シフト反応 + FT 合成プロセス）の高効率化や製造設備の設計開発に加え、革新的新規技術・プロセス（共電解、Direct-FT 等）の開発を実施する。

こうした合成燃料に係る技術開発・実証を今後 10 年で集中的に行うことで、2030 年までに高効率かつ大規模な製造技術を確立し、2030 年代に導入拡大・コスト低減を行い、2040 年までの自立商用化（環境価値を踏まえたもの）を目指す。

ウ) 合成メタン

<現状と課題>

合成メタンは、再生可能エネルギー由来等の水素と CO₂から合成（メタネーション）されているため水素キャリアの一つとして期待される。都市ガス（天然ガス）の主成分はメタンであり、合成メタンは都市ガス導管等の既存のインフラや設備を活用して天然ガスを代替することができるため、

2050 年カーボンニュートラルに向けてコストを抑えつつ、より円滑な移行への貢献が期待できる。また、排出される CO₂を回収してグリーン水素と組み合わせた合成メタンは、新たな CO₂を排出しないためカーボンニュートラルとなり得る。CO₂の分離・回収や利用等と組み合わせることにより、より一層の CO₂排出量の削減に貢献できる。

メタネーションの技術については、2017 年度から 2021 年度にかけて NEDO において、小規模試験設備でメタネーションを行う基盤技術開発を実施した。また、2019 年度から 2020 年度にかけて NEDO において、水素の調達を必要とせず、従来のメタネーション技術より高効率に合成メタンを製造できる革新的な SOEC メタネーション技術に必要な要素技術を確認する先導的な基盤技術開発も行われている。

今後、メタネーションの実用化・低コスト化に向けた設備の大型化や高効率化などの技術開発が必要となる。また、メタネーションには安価な水素と CO₂の調達が必要であり、サプライチェーンの構築が課題となる。CO₂削減量のカウントについては、カーボンニュートラルに資する方向での検討が必要である。

<今後の取組>

2030 年には、既存インフラへ合成メタンを 1 %注入し、水素直接利用等その他の手段と合わせて 5 %のガスのカーボンニュートラル化を目標とする。2050 年までには、既存インフラに合成メタンを 90%注入し、水素直接利用等その他の手段と合わせてガスのカーボンニュートラル化達成を目指す。加えて、2030 年頃において、船舶分野におけるガス燃料として合成メタン等の供給開始を目指す。

水素製造に必要な水電解装置の低コスト化やメタネーション設備の大型化に必要な技術開発、高効率なメタン合成や CO₂の分離・回収に必要な革新的技術開発に取り組む。

2025 年日本国際博覧会では、会場の生ごみから発生するバイオマス由来の CO₂と再生可能エネルギー由来の水素からメタネーションにより合成メタンを生成し、会場内の施設で活用する実証が提案されている。

CO₂削減量のカウントについて、カーボンニュートラルに資する方向での検討を速やかに行う。

また、2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、合成メタンの生成のために相当量の水素の確保が必要となり、合成メタンのコストを低く抑えるためには、水素コストが相対的に安価な海外で生成した合成メタンを国内に輸送することが有効と考えられる。これらを踏まえ、合成メタンの導入など、ガスの脱炭素化に向けた海外サプライチェーン構築を進めていく。2020 年代後半には海外から国内へ合成メタンの輸送を開始し、2030 年代には全国的な導入拡大を進めていき、コスト低減を図りながら、2040 年代には商用化の実現を目指す。

これらの取組を進めるためには、供給側・需要側の民間企業や政府など、関係する様々なステークホルダーが連携して取り組むことが重要であることから、ガスの脱炭素化に向けて官民が一体となって取組を推進するメタネーション推進官民協議会を 2021 年 6 月に設置し、検討を推進する。

これらの取組を通じて、2050 年までに合成メタンを 2,500 万トン供給し、合成メタンの価格が現在の LNG 価格（40～50 円/Nm³）と同水準となることを目指す。

エ) グリーン LPG

<現状と課題>

LP ガスは全世帯の約 4 割の家庭に供給される、国民生活を支える必要不可欠なエネルギーであり、工業用・化学原料用等、多岐にわたる分野を支えている。これまで、地方での人口減やガス機器の省エネルギー化、オール電化住宅の普及により、需要減があったが、近年の国内需要は 1400 万トン/年で推移している。

カーボンニュートラルに向けて、化石燃料である LP ガスを海外から調達する業界構造から、化石燃料によらないグリーン LP ガスを合成する技術確立することにより、グリーン LP ガス製造業の創出を図ることで、カーボンニュートラルに貢献する業態へ転換する必要がある。

現状では、水素と一酸化炭素等による人工合成によるグリーンな LP ガス合成技術が想定されるが、将来的に、LP ガスを合成するためには、生成率の高い触媒等の開発・実証が不可欠。

本技術の商用化により、これまでの業界構造が変化し、従来 LP ガス産業と関わりがなかった様々なプレイヤーの参入により、コスト低減が図られることが期待される。

なお、欧州においては、バイオディーゼル燃料の副生物として、バイオマス由来のグリーンな LP ガスの合成が行われているものの、数量は極めて少量であり、人工合成については、世界的に基礎研究途上の状況である。

<今後の取組>

LP ガスのグリーン化を図るため、化学合成による LP ガス合成技術確立し、2030 年の社会実装に向けた実証等に取り組む。

こうしたグリーン LP ガスの合成に係る技術開発・実証を今後 10 年で集中的に行うことで、2030 年までに合成技術確立し、商用化を実現。2050 年には需要の全量をグリーン LP ガスに代替することを目指す。

2. 目標

- アウトプット

- 研究開発の目標

- 液体燃料（輸送用燃料）

- （i）合成燃料

- ①2028 年までに、パイロットスケール（300BPD 規模を想定）で液体燃料収率 80%を達成。

- ②合成燃料の組成変化への対応を前提としつつ、乗用車の燃料利用段階の CO₂排出量（評価においては、合成燃料による低炭素化効果は除外）を現在（110kg-CO₂/km）から半減するための基盤的技術及び内燃機関（重量車）の正味熱効率（最高点）55%以上を実現するための基盤的技術を 2027 年までに確立。

- （ii）持続可能な航空燃料（SAF）

- 2030 年までの航空機への燃料搭載を目指し、製造する技術（ATJ 技術（Alcohol To Jet）を想定）を確立し、液体燃料収率 50%以上かつ製造コストを 100 円台/L を実現。

- 気体燃料（産業用・家庭用）

- （iii）合成メタン

- 2030 年度までに、①再生可能エネルギー等の電力から製造した水素と、②その水素と回収した CO₂からメタン合成（メタネーション）することによる合成メタン製造に係る一連のプロセスの総合的エネルギー変換効率が 60%を上回る合成メタン製造が見通せる革新的技術によるメタネーションを実現。

- （iv）グリーン LPG

- 2030 年までに、化石燃料によらない LP ガスを年産 1,000 トン以上生産し、商用化を実現。なお、商用ベースに乗せるための技術課題として、現状の生成率 30%を改善し、生成率 50%となる合成技術を確立する。

（目標設定の考え方）

- 液体燃料（輸送用燃料）

- （i）合成燃料

- ①商用化の一步手前となるパイロットプラントによる高効率な製造技術の確立を狙う。日本 GTL 技術研究組合によって行われた GTL（Gas to Liquid：天然ガスから液体燃料を合成する手法）プロジェクトの実績を参考

- （<http://www.jogmec.go.jp/news/release/release0383.html>）に設定。液体燃料収率が高いほど、最終製品価格を押し下げることができる。

②④現行実用化されている燃焼技術の、WLTCモード（世界統一試験サイクル）におけるエネルギー変換効率が約 20%、⑤現行実用化されている燃焼技術の、特定の燃焼条件下における最高エネルギー変換効率が約 40%、⑥過去の国家プロジェクトにおいて開発された燃焼技術（ラボレベル）の、特定の燃焼条件下で最高エネルギー変換効率約 50%、⑦過去 40 年で、最高エネルギー変換効率が 10%程度向上してきたことを踏まえ、今回の事業では、燃焼技術に加え排ガス高効率処理技術等の組み合わせにより、WLTC モードにおいて、燃焼技術換算で現行の 2 倍となる約 40%（燃焼技術に換算して、過去 40 年で、最高エネルギー変換効率の向上率の 2 倍となる約 20%向上）にすることで、CO₂排出削減量を半減することを目標と設定。また、大型車については、現状ディーゼル燃料が多く使用されていることを踏まえ、ディーゼル燃料を利用する内燃機関としての効率を限界近くまで高める野心的な目標として、諸外国の研究開発目標も参考に、目標を設定。これにより、燃焼段階における経済性が向上することで、初期段階では高い価格となることが見込まれる合成燃料の普及を後押しする効果が期待される。

（ii）持続可能な航空燃料（SAF）

既製品と同等のコスト目標を設定することで、国内の製造事業者による国際的にも競争力のある SAF の製造技術、供給体制の確立を目指す観点から設定。

○気体燃料（産業用・家庭用）

（iii）合成メタン

革新的技術の社会実装の実現には、現在の技術による合成メタン製造に係る一連のプロセスの総合的なエネルギー変換効率より高いエネルギー変換効率が求められるため、社会実装時にそれが見通せる目標を設定。

（iv）グリーン LPG

グリーン LP ガスの生成については、現状では 30%という非常に低い生成率について、生成率の高い合成方法、触媒を開発することが、事業全体の生産性を大きく改善することにつながる。グリーン LP ガスの商用化のためには、生成率 50%を確保する必要がある。また、グリーン LP ガスの商用化という観点から、採算ベースに乗せるため、一定量は生産・販売する必要があり、年産 1000 トンという生産量は、事業化のための必要な生産量である。

（目標達成の評価方法）

○液体燃料（輸送用燃料）

（i）合成燃料

① プラントの運転実績で評価。インセンティブ額の算定に必要な「目標の達成度」については、プラントの規模や液体燃料収率の両方に依存することとし、目標の達成度 = 実際のプラント規模

(○○BPD) / 300BPD × 実際の液体燃料収率 (○○%) / 80%とする。

② 燃焼技術については、シミュレーションモデルを用い、①今回開発された技術の適用前後のCO₂排出量を比較して評価、②大型車向け内燃機関については、最高の正味熱効率を評価する。

(ii) 持続可能な航空燃料 (SAF)

・SAFの液体燃料収率の試算及び生産量及び生産コスト(1Lあたりの生産に要する原材料費、機械装置費、運転費等)の算定を行い、目標達成度を評価する。

○気体燃料(産業用・家庭用)

(iii) 合成メタン

合成メタン製造に係る一連のプロセスが評価可能であって、革新的技術を組み込んだ小規模試験設備で合成メタンを生成し、総合的なエネルギー変換効率を試算して目標達成度を評価する。

(iv) グリーンLPG

グリーンなLPガス合成技術を組み込んだ実証プラントによる実証運転で生成率を確認し、また、年間の生産量を確認し、目標達成を評価する。

(目標の困難性)

○液体燃料(輸送用燃料)

(i) 合成燃料

- ①既存技術(逆シフト反応+FT合成)の足し合わせでは、ラボレベルでも液体燃料収率80%の達成は困難であり、既存技術の改良や新しい反応プロセスを組み合わせることで初めて達成可能な領域。また、それを工業的に行うには反応条件等の観点から全く新しい製造装置の設計を行う必要があり、先行している海外でもパイロットプラントまで至る研究は存在せず、極めてハードルが高い。
- ②実用化されている燃焼技術では、特定の条件下における最高エネルギー変換効率が約30%から約40%へ向上するのに40年を要した。この間に、排ガス規制への対応として、燃焼技術による排ガス成分低減や排ガス処理装置を付加して機能させるための排気温度上昇などによる燃料利用率低減により、走行時のCO₂排出量は増加する方向で排ガス低減技術が進化している。実走行時(WLTCモードなど)のCO₂排出量低減は、これらを組合せて進める必要があり、現行の2倍となるエネルギー変換効率を達成する技術を10年で見出すのは非常に困難な目標である。大型車については、現状ディーゼル燃料が多く使用されていることを踏まえ、ディーゼル燃料を利用する内燃機関としての効率を限界近くまで高める野心的な目標として設定しており、達成は非常に困難といえる。

（ii）持続可能な航空燃料（SAF）

既存の ATJ 技術（Alcohol To Jet）を用いた SAF 製造プロセスについては、触媒利用によるエタノールからのエチレンの収率は 98%（パイロットプラントでの値であり、大規模化するとより収率が低減する見込み）、エチレンからのジェット燃料の収率は 60%の技術レベルであり、本事業で、「エタノールからのエチレンの収率の向上（99%以上）」及び「エチレンからのジェット燃料油の収率の向上（90%以上）」を実現するとともに、プラント内での化学反応の最適化技術（触媒運用技術等）を確立し、既製品と同等のコストを目指すことは、非常に困難な目標である。

○気体燃料（産業用・家庭用）

（iii）合成メタン

SOEC／メタン合成連携反応や水電解／低温サバティエ連携反応、PEM 等の革新的技術を用いたメタネーションは先導的研究が終了した段階であり、サバティエ反応によるメタネーションと比べてメタン合成がより高効率であることが想定されているものの、実証に必要な要素技術の確立には至っていない。社会実装に向けてコストや性能の優れた要素技術の開発等の高いハードルが存在する。

（iv）グリーン LPG

生成率の高い合成方法や触媒の開発という基盤技術の確立から目指す必要がある。さらに、事業化のためには、エネルギー使用の効率化に加えて、合成時に副生される水（ H_2O ）による腐食リスクの管理ノウハウや、原料に含まれる不純物由来で生じる可能性がある硫化水素等の除去技術といった、生産設備にかかる周辺技術も同時に確立する必要があり、2030 年までに商用化を図るためには解決されるべき課題が多く存在する。

● アウトカム

CO₂等を用いた燃料製造技術開発の確立により、期待される世界の CO₂削減効果、及び予想される世界の市場規模について、以下の前提に基づき機械的に算出した。日本企業の国際競争力、民間投資誘発額の状況も随時モニタリングしつつ、世界市場の付加価値の相当程度の割合を我が国に還流させ、世界及び日本の脱炭素化に貢献することを目指す。

➤ CO₂削減効果（ポテンシャル推計）

4 つの合計は、約 600.8 万～943.8 万トン／年（2030 年）、約 3.2 億トン／年（2050 年）と推定。内訳は以下の通り。

○液体燃料（輸送用燃料）

（i）合成燃料

○ 約 4.5 万トン／年（2030 年）

【算定の考え方】

300BPD プラントを 1 年間稼働して製造される合成燃料のすべてを軽油の代替とした場合の CO₂削減量。CO₂削減量は、合成燃料の使用により新たな CO₂排出は行われないものとし、300BPD プラントを 1 年間稼働して製造される合成燃料の全量に軽油の単位当たり CO₂排出量を乗じたもの。

【利用したパラメータ】

①軽油の単位当たり CO₂排出量：2.58t-CO₂/kℓ

計算式：300[B/日]÷6.29[B/kℓ]×365[日]×① = 44,917[t-CO₂]

○ 約 1.2 億トン/年（2050 年）

【算定の考え方】

ガソリン需要が 2021 年以降年率 2.4%、軽油需要が 2021 年以降年率 0.4%（2021～2025 年度石油製品需要見通しを参照）で減少すると仮定して算出される 2050 年時点のガソリン及び軽油の需要をすべて合成燃料で代替した場合の CO₂削減量。CO₂削減量は、合成燃料の使用により新たな CO₂排出は行われないものとし、ガソリン及び軽油の需要に単位当たり CO₂排出量を乗じたもの。ただし、電動化の進展や燃料の利用効率のさらなる向上等により、2050 年時点の需要はさらに押し下げられることが想定される。なお、航空機需要等も想定されるが、ここでは自動車のみを対象とした。

【利用したパラメータ】

①2050 年のガソリン需要：21,664 千 kℓ ※2019 年比▲56%

②2050 年の軽油需要：28,105 千 kℓ ※2019 年比▲16%

③ガソリンの単位当たり CO₂排出量：2.32t-CO₂/kℓ

④軽油の単位当たり CO₂排出量：2.58t-CO₂/kℓ

計算式：①×③+②×④ = 122,771,380 [t-CO₂]

（ii）持続可能な航空燃料（SAF）

○ 約 506 万～849 万トン/年（2030 年）

【算定の考え方】

- ・国際航空の CO₂排出削減枠組みである CORSIA への対応の対象となる、国内空港から発つ本邦及び外航航空会社の利用分における試算。
- ・2030 年における SAF 想定需要(250 万～560 万 KL/年)、SAF の CO₂削減効果(80%～60%)については、令和 3 年 5 月 28 日国土交通省「航空機運航分野における CO₂削減に関する検討会(第 2 回)」事務局説明資料から引用。

出典：<https://www.mlit.go.jp/common/001407977.pdf>

【利用したパラメータ】

①SAF 想定需要：250 万～560 万 KL/年

②CO₂削減効果：80～60%

計算式：①×②×0.8(KL→t)×3.16(t→t-CO₂/t)

○ 約 5,233 万トン/年（2050 年）

【算定の考え方】

・日本の航空会社の国内線・国際線利用分における試算。

・2050 年における SAF 想定需要(2,300 万 KL)、SAF の CO₂削減効果(90%)については、2021 年 10 月 8 日全日本空輸(株)・日本航空(株)共同リリース「SAF（持続可能な航空燃料）に関する共同レポート」から引用。

出典：

(ANA) <https://www.anahd.co.jp/group/pr/pdf/20211008-1-1.pdf>

(JAL) <https://press.jal.co.jp/ja/items/uploads/29b739f32e77631451b59a6c03bf77b906ac9e8a.pdf>

【利用したパラメータ】

①SAF 想定需要：2,300 万 KL

②CO₂削減効果：90%

計算式：①×②×0.8(KL→t)×3.16(t→t-CO₂/t)

○ 気体燃料（産業用・家庭用）

（iii）合成メタン

○ 約 90 万トン/年（2030 年）

【算定の考え方】

都市ガス需要の 1%をメタネーションで代替すると仮定。都市ガス需要は 2019 年度実績を利用。

【利用したパラメータ】

①2019 年度都市ガス販売量：400 億 Nm³

②都市ガス CO₂原単位：2.23kg-CO₂/Nm³

③メタネーション導入率：1%

計算式：①×②÷1,000×③

○ 約 8,000 万トン/年（2050 年）

【算定の考え方】

都市ガス需要の 90%をメタネーションで代替すると仮定。都市ガス需要は 2019 年

度実績を利用。

【利用したパラメータ】

- ①2019 年度都市ガス販売量：400 億 Nm³
 - ②都市ガス CO₂原単位：2.23kg-CO₂/Nm³
 - ③メタネーション導入率：90%
- 計算式：①×②÷1,000×③

(iv) グリーン LPG

- 3,000 トン/年 (2030 年)

【算定の考え方】

2030 年に商用化されるグリーン LP ガスの生産量は 1,000 トン/年であり、LP ガスは燃焼時に 3 倍の CO₂を排出するため、CO₂削減量は 3,000 トン/年・CO₂となる。

- 約 6,450 万トン/年 (2050 年)

【算定の考え方】

2050 年には、国内の LP ガス需要 800 万トン/年をグリーン LP ガスに代替し、さらに、アジア市場で、1,350 万トン/年のグリーン LP ガスの需要を見込んでいる²³ことから、CO₂削減量はそれぞれ以下のとおりであり、①②の合計で 6,450 万トン/年となる。

- ① 国内需要 800 万トン/年 × 3 = 2,400 万トン/年・CO₂
- ② アジア市場需要 1,350 万トン/年 × 3 = 4,050 万トン/年・CO₂

【利用したパラメータ】

LP ガスの CO₂排出量の原単位：3.0kg・CO₂/kg

➤ 経済波及効果（世界市場規模推計）

4 つの合計は、約 2704 億～1.1 兆円（2030 年までの累計）、17.1 兆円（2050 年までの累計）と推定。内訳は以下の通り。

- 液体燃料（輸送用燃料）

(i) 合成燃料

- 約 7.1 兆円/年 (2050 年)

【算定の考え方】

・燃料の流通

²³ 2050 年の国内 LP ガス需要については日本 LP ガス協会の試算による。アジア市場については、Argus 社 LPG analytics Services – long-term market review – の東南アジア/南アジアの 2040 年における工業/商業用途の需要量を 2050 年においても同規模で推移すると仮定して試算とした。

上記のガソリン・軽油需要をすべて合成燃料で代替すると仮定。ガソリンの単価は 135 円/ℓ、軽油の単価は 116 円/ℓ と設定（給油所小売価格調査から 2020 年度平均を概算）。

計算式：①×1,000×135[円/ℓ]+②×1,000×116[円/ℓ] ÷ 6.2 [兆円]

・燃料製造設備

上記のガソリン・軽油需要を賄うことができる設備（3 万 BPD プラント^{※1}×29 基^{※2}）の建設に、2040 年以降本格的に取り組んでいくことを想定。これらの設備の建設にかかる費用^{※3}を 10（年）で割った金額を計上。

※1 $250 \times 60^{0.6} \div 0.3$ [兆円] （500BPD 建設にかかる費用（250 億円）を 60 倍の 3 万 BPD まで 0.6 乗則でスケールアップ）

※2 $(①+②) \div 0.159[\text{k}\ell/\text{B}] \div (365 \times 30,000[\text{BPD}]) \div 29$ [基]

※3 $0.3 \times 29[\text{基}] = 8.7$ [兆円]

計算式： $8.7 \div 10 = 0.87$ [兆円/年]

【利用したパラメータ】

①2050 年のガソリン需要：21,664 千 kℓ ※2019 年比▲56%

②2050 年の軽油需要：28,105 千 kℓ ※2019 年比▲16%

（ii）持続可能な航空燃料（SAF）

- 約 2,500 億円～1.1 兆円/年（2030 年）

【算定の考え方】

・国際航空の CO₂排出削減枠組みである CORSIA への対応の対象となる、国内空港から発つ本邦及び外航航空会社の利用分における試算。

・2030 年における SAF 想定需要(250 万～560 万 KL/年)、SAF の CO₂削減効果(80%～60%)については、令和 3 年 5 月 28 日国土交通省「航空機運航分野における CO₂削減に関する検討会(第 2 回)」事務局説明資料から引用。

出典：<https://www.mlit.go.jp/common/001407977.pdf>

・SAF コスト目標については、2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略から引用。

【利用したパラメータ】

①SAF 想定需要：250 万～560 万 KL/年

②SAF コスト目標：100～199 円/L

計算式：①×②

- 2.3 兆円 /年（2050 年）

【算定の考え方】

- ・日本の航空会社の国内線・国際線利用分における試算。
- ・2050 年における SAF 想定需要(2,300 万 KL)、SAF の CO₂削減効果(90%)については、2021 年 10 月 8 日全日本空輸(株)・日本航空(株)共同リリース「SAF（持続可能な航空燃料）に関する共同レポート」から引用。

出典:

(ANA) <https://www.anahd.co.jp/group/pr/pdf/20211008-1-1.pdf>

(JAL) <https://press.jal.co.jp/ja/items/uploads/29b739f32e77631451b59a6c03bf77b906ac9e8a.pdf>

- ・SAF コスト目標については、2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略から引用。

【利用したパラメータ】

①SAF 想定需要：2,300 万 KL

②SAF コスト目標：100 円/L

計算式：①×②

○気体燃料（産業用・家庭用）

（iii）合成メタン

○ 約 200 億円/年（2030 年）

【算定の考え方】

2030 年に国内都市ガス需要の 1 %分が合成メタンに置き換わると仮定した場合の市場規模を CO₂削減効果（ポテンシャル推計）の仮定に基づき、2050 年における合成メタンの価格目標（現在の LNG 価格（40～50 円/Nm³））より 50 円/Nm³として推計

【利用したパラメータ】

①2019 年度都市ガス販売量：400 億 Nm³

②合成メタンの価格目標：50 円/Nm³

③メタネーション導入率：1%

計算式：①×②×③

○ 約 1.8 兆円（2050 年）

【算定の考え方】

2050 年に国内都市ガス需要の 90%分が合成メタンに置き換わると仮定した場合の市場規模を CO₂削減効果（ポテンシャル推計）の仮定に基づき、合成メタンの価格目標（現在の LNG 価格（40～50 円/Nm³））より 50 円/Nm³として推計

【利用したパラメータ】

①2019 年度都市ガス販売量：400 億 Nm³

②合成メタンの価格目標：50 円/Nm³

③メタネーション導入率：90%

計算式：①×②×③

(iv) グリーン LPG

- 約 4 億円/年（2030 年）

【算定の考え方】

2030 年時点で約 1,000 トンのグリーン LP ガスが市場に導入された場合の市場規模を推計。40 万円/トン（現在のトン当たり市場単価）×1,000 トン（2030 年のグリーン LP ガス生産量）＝約 4 億円

- 約 5.9 兆円/年（2050 年）

【算定の考え方】

2050 年時点での LP ガス需要が全てグリーン LP ガスに代替された場合の国内市場規模と、アジア市場でのグリーン LP ガス需要量をそれぞれ推計し、合算。

40 万円/トン（現在のトン当たり市場単価）×800 万トン（2050 年の国内市場）
＝約 3.2 兆円

20 万円/トン（アジアでのトン当たり市場単価）×1,350 万トン（2050 年のアジア市場）＝約 2.7 兆円

3. 研究開発項目と社会実装に向けた支援

○液体燃料（輸送用燃料）

（i）合成燃料

【研究開発項目 1 -①】液体燃料収率の向上に係る技術開発

- 目標：2028 年までに、パイロットスケール（300BPD 規模を想定）で液体燃料収率 80%の達成
- 研究開発内容：

【（9/10 委託→1/2 補助） + （1/10 インセンティブ）】

合成燃料の原料となる CO₂は極めて安定な物質であるため、反応性の高い物質（CO）に一度変換し、その後 Fischer-Tropsch 反応（FT 合成）と呼ばれる反応で、液体燃料となる炭化水素を合成する。FT 合成は重合反応（炭素（C）が連続的に結合し、生成物が確率論的な広がりを見せる）であるため、反応の制御（液体燃料の収率向上）が課題にもなっているが、本事業では、CO₂を H₂により還元して CO を製造する逆シフト反応の確立と、CO と H₂から炭化水素を製造する FT 合成、FT 合成粗油から製品へのアップグレーディングによる一貫製造プロセスの開発を実施する。逆シフト反応は、適切な反応温度で行うことで、理論上は目的物（CO）の収率を向上することが可能であるが、エネルギー消費等、運転コストや装置コストの観点も含めた観点から条件最適化を目指した一貫製造システムを開発することが重要である。液体燃料収率向上のために、CO をさらに高効率で燃料に転換する必要があるため、未反応原料を再原料化することやエネルギー全体を最適化する観点から、後段の FT 合成工程と高度に連携を図り、プロセス全体の総合効率を高める製造プロセスを検討する。

（委託・補助の考え方）

- 合成燃料は、運輸部門をはじめとした液体燃料を引き続き活用していく分野のカーボンニュートラルを実現するために不可欠であるものの、現時点では市場が存在せず、市場可能性も見通せないことから、民間企業が単独で多額の費用を投じて未確立の技術開発・実証を行うことは極めて困難。
- また、基金事業の目標であるパイロットスケール（300BPD 規模を想定）での液体燃料収率 80%達成の先に 2040 年までの商用化実現を目指している長期の研究開発であり、基金事業終了後も、商用規模のプラント（10,000BPD 規模を想定）の建設、稼働まで自前で研究開発を継続する必要があるため、民間企業が単独で実施することが困難であることから、国が主体となって実施する必要があることから、委託事業として行う。一方で、商用化に向けて必要な取組ではあるものの、実際の製品規格の適合性の確認となってくることから、パイロットスケールの運転・検証の段階で補助事業へと移行する。

【研究開発項目 1 -②】燃料利用技術の向上に係る技術開発【補助】★²⁴

➤ 目標：

合成燃料の組成変化への対応を前提としつつ、燃料利用段階の CO₂排出量（評価においては、合成燃料による低炭素化効果は除外）を現在（110kg-CO₂/km）から半減するための基盤的技術及び大型車用内燃機関の正味熱効率（最高点）55%以上を実現するための基盤的技術を 2027 年までに確立する。

➤ 研究開発内容：

【2/3 補助（企業等の場合はインセンティブ 1/10）】

合成燃料の普及に当たっては、燃料利用効率の向上に加え、合成燃料の性状に適合した燃烧技術・排ガス技術の実現が必要となる。現状では、平均的な走行モード（WLTC モード）では、燃烧技術や排ガス技術等を総合した燃料利用効率が 20%程度に留まる。一方で、ラボレベルでは、乗用車については、燃烧効率だけ見れば 50%を超える技術が開発されており、排ガス処理性能向上と燃料利用効率が背反関係にあるが、特に燃料利用効率を低下させる原因となっている低温領域における排ガス処理については、触媒を担持するゼオライト材料の改良による低温領域での触媒性能向上や熱マネジメントの詳細制御といった向上ポテンシャルが見込まれるなど、今後の技術開発により、更なる燃料利用効率の向上も期待される。また大型車については、乗用車ほど高い燃烧効率を実現する要素技術は未確立だが、摩擦の低減やリーンバーン技術の適用、材料レベルの改善や排ガスの熱回収も含めた熱マネジメント等のイノベーションにより、正味熱効率の更なる向上が期待できる。本事業では、合成燃料の特性等も考慮しつつ、燃烧技術や排ガス技術の基盤的な技術開発を実施することで、燃料利用効率を向上させ、合成燃料の経済性向上に寄与することを目指す。

（委託・補助の考え方）

- 燃烧や排ガス処理等に関する基盤的な技術開発の取組である一方、要素毎に成果が出た場合には、随時、商品化開発（5 年程度を所要と想定）に移行することが期待される事業であることから、2/3 補助で事業を実施する。

【社会実装に向けた支援】

- 合成燃料の社会実装に向けては、ゼロエミッション電源である再生可能エネルギー等由来水素の十分な導入及びコスト削減、余剰電力などの安価な電力の活用を促進する制度整備を行っていく必要があり、また、合成燃料の国際規格の策定についても積極的に関与していく。加えて、市場の獲得に向けて需要の創出を行っていくために、今後、税や公共調達といった政策手法も検討する。

²⁴ ★マークがある研究開発項目については、大学・研究機関等が主たる実施者（支出が過半を占める実施者）となることが可能（★マークがない項目は、企業等の収益事業の担い手が主たる実施者となる必要）。

- さらに、将来的には、製造プロセスの中でコンビナートの有効活用などが期待されるケースも想定されるが、プロセスにおける脱炭素化や製品そのもの／製品を通じた脱炭素化という共通課題に対し、コンビナートが持つポテンシャル（立地・設備・人材等）を活かし、コンビナート大で連携しながら取り組むことについて、カーボンニュートラルコンビナート研究会の中でも検討を進めている。

（ii）持続可能な航空燃料（SAF）

【研究開発項目2】持続可能な航空燃料（SAF）製造に係る技術開発【委託→補助】

- 目標：
2030 年までの航空機への燃料搭載を目指し、製造する技術（ATJ 技術（Alcohol To Jet）を想定）を確立し、液体燃料収率 50%以上かつ製造コストを 100 円台/L を実現。
- 研究開発内容：
【（9/10 委託→2/3 補助→1/2 補助）＋（1/10 インセンティブ）】
 - ・ATJ 技術（Alcohol To Jet）は、触媒等を利用して、原料賦存量の豊富なエタノールから SAF を製造することを可能とする技術であり、SAF の大量生産が実現可能。
 - ・現状、ATJ 技術で利用するエタノールは「無水エタノール」であり、「無水エタノール」は市場流通量が少なく、また価格が高くなる傾向がある。一方で、市場流通量が多く、価格も安定する傾向のある「含水エタノール」を原料として利用することが出来れば、経済性を高めることにつながると思われる。このため、エタノールを製造するための原料の多様化・経済性の観点から、無水・含水エタノールの両方を原料とすることが出来る方式を実装したプラントの設計・開発を行う。その際、含水エタノールに含まれる水分中には、エタノールからエチレンを製造する際に利用する触媒に悪影響（腐食等）を与える物質が混入しているため、この水分を除去して無水エタノールを得る技術と、環境排出基準に適合する排水処理技術もあわせて確立する。
 - ・SAF を大量（年産 10 万 KL 以上を想定）に製造するため、プラントを大型化する必要がある。プラントの大型化により、反応器内での反応が不均一となり、例えば、反応器内での反応の偏りによる効率低減、未反応や副生物の生成等により反応器内での反応を阻害する汚れ・蓄積物が発生し、これによる効率低減といった課題が予想されることから、反応器の形式・サイズ・基数・配置などの最適化や予測制御システムの開発、原料となるエタノールからジェット燃料への選択性を最大限高める（50%程度以上）ためのプラント内での化学反応の最適化技術（触媒運用技術等）を確立。

（委託・補助の考え方）

- 本研究開発で取り組む技術（ATJ 技術（Alcohol To Jet））による商用規模での SAF 製造技術は世界的にも確立されておらず、技術開発リスクが高いため、技術開発部分は委託事業での実施を想定。
- 当該技術を大型プラントで適切に利用するための実証設備の設計・建設部分については、量

産を前提とした商用化に移行する段階ではあるものの、事業化を目指した研究開発には製造コスト面等の大きなリスクを抱えるため、補助率を設定することを想定。

【社会実装に向けた支援】

①SAF 取扱要領の策定

石油連盟において、SAF 製造事業者が、空港のハイドラント（共同貯油施設）に SAF を供給する際等に参照する取扱要領を新たに策定し、公表。今後、必要に応じて改訂。

ジェット燃料の取扱いについては、石油連盟が策定する石連指針が参照されているが、SAF に関する具体的な記載は盛り込まれていないため、本取扱要領の策定により、SAF 製造事業者が、SAF を円滑に供給できるよう環境整備を行う。

②SAF の認証等の手続支援

SAF をジェット燃料（ケロシン）の代替燃料として利用するためには、燃料の品質が ASTM²⁵の規格を満たす必要がある。②また、SAF を ICAO の CO₂排出削減枠組みに対応する燃料とするためには、CORSIA²⁶適格燃料として認証を得る必要がある。

SAF 製造事業者が、ASTM の規格及び CORSIA 適格燃料への認証手続を円滑に実施出来るよう、経済産業省及び国土交通省において支援を行っていく。

③ASTM の混合率の引き上げ

航空機に搭載する SAF は、国際規格（ASTM）に適合していることが必要。製造方法・原料毎に ANNEX が規定されている（令和 3 年 9 月時点では 7 つ）。

既に規定されているニート SAF の混合可能な割合は、最大でも 50%。今後、カーボンニュートラルを実現するためには、ニート SAF の混合割合を更に引き上げることが必要。このため、我が国で貢献可能な方法の調査・検討を実施するとともに、米国当局等と連携して ASTM への働きかけを行う。

④官民協議会の設置

航空分野における CO₂ 排出削減に向けては、その取組の方向性を検討するため、国土交通省主導で「航空機運航分野における CO₂ 削減に関する検討会」を設置済み。本検討会には、有識者や航空会社等が参画（石油会社もオブザーバー参加）。

今後の SAF の社会実装にあたっては、国際競争力のある国産 SAF の開発・製造を推進するとともに、将来的なサプライチェーン構築に向け、燃料供給事業者と利用側の航空会社との連携が重要。第 4 回検討会（12/10）において、SAF の普及促進に向けた方策を示した工程表を策定。

今後、本工程表の取組を実務的に着実に進めていくため、新たに国土交通省と資源エネ

²⁵ ASTM：世界最大規模の標準化団体である ASTM International が策定・発行する規格。エネルギーや環境等、130 分野の規格を策定。

²⁶ CORSIA：ICAO の目標達成のため、オフセットの仕組み（SAF やクレジットの利用）等を規定する制度。2016 年の ICAO 総会において採択。

ルギー庁の共同で「官民協議会」を設置し、SAF 導入にあたっての課題（国産 SAF 開発・製造、サプライチェーン構築、国際標準化等）や、導入支援策の在り方等の具体策を検討予定。

○気体燃料（産業用・家庭用）

（iii）合成メタン

【研究開発項目3】合成メタン製造に係る革新的技術開発【委託→補助】

➤ 目標：

2030 年度までに、①再生可能エネルギー等の電力から製造した水素と、②その水素と回収した CO₂からメタン合成（メタネーション）する合成メタン製造に係る一連のプロセスの総合的なエネルギー変換効率が 60%を上回る合成メタン製造が見通せる革新的技術によるメタネーションを実現。

➤ 研究開発内容：

【（9/10 委託→2/3 補助）+1/10 インセンティブ】

2050 年までに現在の LNG 価格（40～50 円/Nm³）と同水準とするためには、合成メタン製造に必要な再生可能エネルギー等の電力投入量の削減が必要であり、よりエネルギー変換効率の高い革新的技術の開発が求められる。

他方、革新的技術については、先導的研究が終了した段階にあって、社会実装に必要な技術の確立には至っていない。例えば SOEC/メタン合成連携反応を用いたメタネーションでは、NEDO 事業²⁷を通じて共電解技術やメタン化反応制御技術がそれぞれ成立しうることを確認した段階であって、基盤技術開発を進める上では、高温電解に必要なセルの開発、メタン合成触媒の耐久性・反応制御の向上、高温で一連の反応を連続するシステムの構築といった課題がある。水電解/低温サバティエ連携反応を用いたメタネーションでは、国立研究開発法人科学技術振興機構の事業²⁸を通じて同様に先導的研究が行われた段階であって、水電解に必要なセルの開発やメタン合成触媒の耐久性・反応制御の向上といった課題がある。PEM を用いたメタネーションでは、民間機関において同様に先導的研究が行われた段階であって、メタン合成触媒の耐久性・反応制御の向上といった課題がある。また、これらの技術毎に特徴が異なる（1. 背景・目的の項目参照）ため、現時点では特定の技術に絞り込むことは困難である。

このため、本事業では、革新的技術の要素技術の開発を進め、将来的な実用化が見通せる革新的技術に絞り込み、要素技術を試験装置で試験することで、そこで得られた知見を要素技術開発に活用しながら、社会実装が見通せる革新的技術の基盤技術の確立を目指す。

²⁷ P10（iii）合成メタン関係 参照

²⁸ JST HP：<https://projectdb.jst.go.jp/grant/JST-PROJECT-14532344/>

なお、早期の社会実装に向けた取組を進める観点から、製造した合成メタンを導管に注入する、消費機器で利用する等の取組も事業の進捗に応じて検討する。

（委託・補助の考え方）

- 研究開発内容については、現在は革新的技術の基盤技術を確立していく段階であって長期の研究開発が必要であり、また、都市ガス需要を賄えるほど安価で大量な再生電力も必要となる。加えて、2040年代の導入拡大を想定しているなど、基金事業終了時点においても事業化まで時間を要するため、民間企業が単独で実施することが困難であり、国として積極的に支援を講じる必要があることから、委託事業として行う。ただし、革新的な要素技術を統合した革新的システムの構築・検証の段階で補助事業へと移行する。

【社会実装に向けた支援】

- 合成メタンの社会実装に向けては、技術開発に加え、サプライチェーンの構築やカーボンニュートラルに資する方向でのCO₂カウント等の検討が必要であり、これらの課題への取組を推進する「メタネーション推進官民協議会」と連携して取組を進める。

（iv）グリーンLPG

【研究開発項目4】化石燃料によらないグリーンなLPガス合成技術の開発【委託→補助】

➤ 目標：

2030年までに水素と一酸化炭素によるグリーンなLPガス合成技術を確立し、商用化を実現。なお、商用ベースに乗せるための技術課題として、現状の生成率30%を改善し、生成率50%となる合成技術を確立する。

➤ 研究開発内容²⁹：

【（9/10委託→2/3補助・1/2補助）＋（1/10インセンティブ）】

グリーンLPガスの合成については、水素と一酸化炭素からメタノール、DME（ジメチルエーテル）、LPガスの順に化学変化させて生産する製法が、FT反応合成による直接製法と比べて、合成温度が280℃程度と低いため触媒の劣化を予防でき、合成に多量の電気が要しないためランニングコストを抑制できるというメリットがあることから、この製法にかかる技術をグリーンLPガス合成技術として確立することが必要である。一方、この製法は、現在の触媒では生成率が30%と低く、商用化のためには、生成率を50%にまで高める必要がある。そのため、生成率の高い触媒等の基盤技術の開発が必要。

また、量産を前提としたプラントにかかる技術を確認するためには、合成のための基盤技術のほか、合成時に副生される水（H₂O）による腐食リスクの管理や、原料に含まれる不純物由来で生じる可能性がある硫化水素等の除去技術といった周辺技術が必要になり、それらを

²⁹ 「2. 目標」の「研究開発の目標」の達成に向けては、様々な方法が考えられるため、具体的な達成方法は提案者の創意工夫に委ねる。

統合・設計した大規模実証プラントで、想定通りの機能を発揮できるか検証する必要がある。

このため、本事業では、商用化を実現するための大規模製造が可能なプラントの運用方法を確立する。

（委託・補助の考え方）

- グリーン LP ガスの生成率の高い合成方法・触媒の開発は、事業全体の生産性に係る基盤的技術であり、この技術の確立なくしては、事業化は不可能。現在の技術での生成率の低さから商用化の困難さがあり、民間企業における LP ガス合成の研究はこれまでほとんど行われてこなかったため、この基盤技術の確立には、多くのリスクがある。これにより、民間企業単独では困難であるため、委託費による開発を行う。
- 実証プラントにおける検証は、基盤技術、周辺技術を組み込んだプラントで、想定通りの機能やパフォーマンスが得られるかどうか、実際に運転をして検証をするものだが、プラントの設計やあり方として確立されていないため、想定外の結果となるリスクもある。その一方、大型実証プラントは商用化を念頭に置いたものであり、そのまま取り組んだ事業者のビジネスにつながるものであるため、補助事業として、事業者側の相当の負担を求めることが望ましい。

【社会実装に向けた支援】

- グリーン LP ガスの社会実装に向けては、技術開発に加え、日本国内については、グリーン LP ガスの生産を念頭に置いた LP ガスの品質基準の検証・見直しや、第三者認証制度の確立による信頼性の高い取引環境の整備、さらに、需要家への認知を高めるためのグリーン LP ガスの業界統一ブランド化の取組を進める。また、製造原価が高いことを念頭に、グリーン LP ガスのサプライチェーンについての在り方や展望についても整理していく。アジア市場の開拓については、「LP ガス国際セミナー」や「アジア LP ガスフォーラム」を活用し、アジアの LP ガス事業者と日本企業とのネットワークづくりを後押しし、日本のグリーン LP ガスの取組を紹介することで、アジア諸国の啓もうを図っていく。さらに、アジアの LP ガス関係者に対して、グリーン LP ガスのビジネス基盤となる、認証制度や品質基準、ブランド化ノウハウを指導していく。

4. 実施スケジュール

- プロジェクト期間

- 液体燃料（輸送用燃料）

- (i) 合成燃料

- 【研究開発項目 1-①】液体燃料収率の向上に係る技術開発

合成燃料製造のためのパイロットスケールでの目標（液体燃料収率 80%）達成については、ラボスケールでの触媒開発から、ベンチプラントの設計・建設・試験、パイロットプラントの設計・建設・試験といった一連の取組を確実に実施するための十分な時間を確保する観点から、2022 年度から 2028 年度までの最大 7 年間を想定。

以下のスケジュールは、あくまで一例であり、事業者の提案において、早期の目標達成のために最適なスケジュールを組むことは妨げない。

- 【研究開発項目 1-②】燃料利用技術の向上に係る技術開発

燃料利用に伴う CO₂排出量を半減/大型車向け内燃機関の正味熱効率（最高点）を 55%以上に向上するという、燃料利用技術の限界に近い開発目標を達成するためには、燃焼技術や排ガス処理技術等について、基盤的な物理現象解明から、最適な技術の組み合わせの探索、触媒等の材料の開発・試作・評価といった、幅広い研究開発テーマに取り組む必要があることから、十分な時間を確保する。一方で、最短で 2030 年代前半から、開発対象とする技術を活用した製品の社会実装を見込むことから、2022 年度から 2027 年度までの最大 6 年間を想定（それ以降は、民間独力での開発体制への移行を想定）。

以下のスケジュールは、あくまで一例であり、事業者の提案において、早期の目標達成のために最適なスケジュールを組むことは妨げない。

- (ii) 持続可能な航空燃料（SAF）

- 【研究開発項目 2】持続可能な航空燃料（SAF）製造に係る技術開発

エタノールから SAF を製造する技術（ATJ 技術（Alcohol To Jet））の確立に係るプラントの設計、建設、実証といった一連の取組を確実に実施するための十分な時間を確保する観点から、2022 年度から 2026 年度までの最大 5 年間を想定。

以下のスケジュールは、あくまで一例であり、航空輸送分野の CO₂発出削減に向けた国際的な枠組みに係る動向や、事業者の提案において、早期の目標達成のために最適なスケジュールを組むことは妨げない。

- 気体燃料（産業用・家庭用）

- (iii) 合成メタン

- 【研究開発項目 3】合成メタン製造に係る革新的技術開発

社会実装を見通せる革新的技術の基盤技術を確立するため、革新的技術の選定・要素技術の開発、要素技術を統合した革新的システムの技術開発・構築・検証といった一連の取組を確実に実施するための十分な時間を確保する観点から、2022 年度から 2030 年度までの最大 9 年間を想定。

以下のスケジュールは、あくまで一例であり、事業者の提案において、早期の目標達成のために最適なスケジュールを組むことは妨げない。

(iv) グリーン LPG

【研究開発項目 4】化石燃料によらないグリーンな LP ガス合成技術の開発

生成率の高い合成方法や触媒を模索するため、触媒の試作品を作成し、ラボスケールで生成率の検証を行う。また、合成工程から未生成で出てくる水素・一酸化炭素や、生成が途中で出てきてしまう中間生成物を抽出し、再度、合成工程に投入する等の工程の検証や、他の研究開発の取組との相互レビューにより、生成率の向上を図る。LP ガスを生成するまでの一連の工程を組み込んだベンチプラントを設計・運転し、合成工程や触媒の検証を行う。これらの基礎研究は 2022 年度から 2025 年度までの 4 年間を想定。ベンチプラントでの検証結果を踏まえ、大規模実証プラントを設計・運用し、生産設備の管理技術の確立を図る。大規模実証は 2026 年度から 2030 年度までの 5 年間を想定。

以下のスケジュールは、あくまで一例であり、事業者の提案において、早期の目標達成のために最適なスケジュールを組むことは妨げない。

● ステージゲート設定等

研究開発目標の達成には、様々なアプローチが考えられることから、具体的な達成方法・スケジュールは提案者の創意工夫に委ねることを原則とするが、以下の通り、事業家段階に切れ目において、ステージゲートを設定し、事業の進捗を見て、継続可否を判断する。本プロジェクトにおいては、技術開発そのものの進展に加えて、水素や CO₂といった原料の安定的な確保、カーボンリサイクル燃料の評価、脱炭素燃料を製造する国内外の他技術の開発状況、水素・アンモニアや化石燃料+CCS 等の代替手段の社会実装の状況といった様々な要素を考慮しながら進める。

○液体燃料（輸送用燃料）

(i) 合成燃料

【研究開発項目 1-①】液体燃料収率の向上に係る技術開発

- ラボスケールでの要素技術開発、ベンチプラントでの運転検証（下表の例では 2024 年度末頃に事業継続判断）
 - ・ 液体燃料収率 80%を満たす合成燃料製造プロセスの設計
 - ・ CO₂収率について、逆シフト反応で 60%、FT 反応で 50%を目指す
 - ・ 副生ガスや未反応物を回収し、液体燃料収率 80%の達成を実現するリサイクル

技術の開発を行う

【研究開発項目 1-②】燃料利用技術の向上に係る技術開発

- 25%以上の CO₂削減に資する要素技術を見出すとともに、事業終了時点で 50%以上の CO₂削減に資する要素技術を確立できる見込みがあることを確認する（乗用車）
とともに、正味熱効率 50%を実現するための要素技術を見出すとともに、事業終了時点で正味熱効率 55%以上を実現する要素技術を確立できる見込みがあることを確認する（大型車）（下表の例では 2024 年末 事業継続判断）

（ii）持続可能な航空燃料（SAF）

【研究開発項目 2】代替航空燃料（SAF）製造に係る技術開発

- 燃料収率 50%達成に向けたプラント基本設計の実行・プラント運用技術の開発（下表の例では 2023 年度頃に事業継続判断）
- 実証プラントでの燃料収率 50%の達成及び製造コストの低減（商用プラントでの 100 円台／年）の根拠を得る（下表の例では 2025 年末頃に成果確認）

○気体燃料（産業用・家庭用）

（iii）合成メタン

【研究開発項目 3】合成メタン製造に係る革新的技術開発

- ラボスケールでの合成メタン製造の総合的エネルギー変換効率 60%以上の実現（下表の例では 2024 年度末頃に事業継続判断）
- ベンチスケールでの合成メタン製造の総合的エネルギー変換効率 60%以上の実現（下表の例では 2027 年頃に事業継続判断）
- なお、上記ステージゲートにおける判断においては、革新的システムを開発・構築するために必要な個別要素技術の達成段階を、実験的検証及び理論的検証により評価する場合を含む。

（iv）グリーン LPG

【研究開発項目 4】化石燃料によらないグリーンな LP ガス合成技術の開発

- シミュレーションによる推計結果で、生成率 50%に達していること（下表の例では 2023 年度頃に検証結果を踏まえ、事業の継続判断をする）
- ベンチプラントにおける検証結果で、生成率 50%に達していること（下表の例では 2025 年度頃に検証結果を踏まえ、事業の継続判断をする）

表 1 : プロジェクトの想定スケジュール (例)

	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度	2027 年度	2028 年度	2029 年度	2030 年度
【研究開発項目 1】合成燃料の製造収率、利用技術向上に係る技術開発										
ラボ要素技術開発、 ベンチプラントテスト		 (TRL : 4)								
パイロットプラントによる 運転検証		触媒開発、プロセス設計、 ベンチプラント設計・建設			運転検証	 (TRL : 4, 5)				
					パイロットプラント設計・建設		運転検証		パイロットプラントでの 製品規格適合性確認	
燃料利用技術の革新		各要素技術の開発			 (TRL : 3, 4程度) (TRL : 5程度)					

	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度	2027 年度	2028 年度	2029 年度	2030 年度
【研究開発項目2】持続可能な航空燃料（SAF）製造に係る技術開発										
SAF製造技術開発		SAF製造技術開発 (TRL : 4)	★	実証設備詳細設計・建設 (TRL : 5、6)		実証運用 (TRL : 7)	★	大規模生産に向けたFS	国内での大規模生産に向けた商用規模プラントの建設	
SAF製造実証										
制度的支援等										
【研究開発項目3】合成メタン製造に係る革新的技術開発										
革新的要素技術開発		革新的技術の選定・要素技術の開発 (TRL : 4)	★				(試験等で得られた知見を活用)			
革新的システム技術開発・検証					要素技術を統合した革新的システムの技術開発 (TRL : 4、5)	★		革新的システムの構築・検証 (TRL : 5、6)		
【研究開発項目4】化石燃料によらないグリーンなLPガス合成技術の開発										
化石燃料によらないグリーンなLPガス合成技術の開発		触媒開発・性能評価 (TRL : 4)	★	ベンチプラントでの検証 (TRL : 4)	★	大規模実証プラント設計・建設 (TRL : 5、6)			実証運用 (TRL : 6、7)	

表2：社会実装スケジュール

⑪カーボンリサイクル・マテリアル産業
 (カーボンリサイクル)の成長戦略「工程表」
 ●導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ
 ●具体化すべき政策手法： ①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等

	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
●カーボンリサイクル燃料 コスト目標 2030年 100円/ガロ (=既製品と同等) (Ⅰ) 代替航空燃料(SAF)	・2030年頃の商用化に向けた 大規模実証、コスト低減 ・国際航空に關し、 ICAO により、2019年比でCO ₂ 排出量を増加させないことが制度化 (2021～2035年) (※ICAO：国際民間航空機関)					・SAFの国際市場の動向に応じて、国内外において、航空機へ競争力のあるSAFの 供給拡大		
(Ⅱ) 合成燃料	【ガス化FT合成】様々な原料の品質を均一化する 焼却処理技術の開発を継続 【AT】 高温状態の触媒反応の制御技術の開発を継続 【微細液滴】CO ₂ 吸収効率の向上や溶の安定的な増強による 生産性向上、品質改良の技術開発を継続 等					大規模製造の実証		
	合成燃料の製造技術の開発 ・既存技術（逆シフト反応+FT合成プロセス）の効率化 ・製造設備の設計開発 合成燃料の革新的製造技術の開発 ・CO ₂ 電解（+水電解）+FT合成プロセスの研究開発 ・共電解+FT合成プロセスの研究開発 ・直接合成（Direct-FT）プロセスの研究開発					導入拡大・コスト低減		
(Ⅲ) 合成メタン コスト目標 2030年 40～50円/Nm³ (=現在のLNG価格と同等)	2040年頃の商用化に向けた 大規模実証、コスト低減 低コスト化に向けた 新たな基礎技術の開発 （共電解等）					更なるコスト低減による 導入拡大 実証による 大規模化、低コスト化		
(Ⅳ) グリーンLPG	海外サプライチェーン構築に向けた 調査・実証 触媒等の実証試験に必要な 基礎技術の開発 商用化に向けた 実証					海外から 国内への輸送開始・導入拡大 ★目標（2030年時） グリーンLPGの商用化		
						更なるコスト低減による 導入拡大 ★目標（2050年時） LPGにおけるカーボンニュートラルの実現 コスト低減 グリーンLPGガス合成技術の普及拡大		

5. 予算

（分野別ワーキンググループでの審議結果を踏まえ、研究開発項目及び研究開発内容等を必要に応じて修正した後、今後の分野別ワーキンググループにおいて、各項目の予算額と予算根拠を提示予定）

●事業総額（国費負担額のみ。インセンティブ分を含む額）：上限 1152.8 億円

（i）合成燃料

➤ 予算額：上限 575.6 億円

【研究開発項目 1-①】液体燃料収率の向上に係る技術開発

➤ 予算額：上限 545.6 億円

➤ 予算根拠：評価設備について、前例となるような類似の研究開発はないため、同等規模の既存評価設備の建設実績³⁰等を基に試算し、プラントの建設・設備費等については、過去の類似プロジェクト³¹の実績（500BD 規模での FT 合成実証プロジェクト）を基に試算。

【研究開発項目 1-②】燃料利用技術の向上に係る技術開発

➤ 予算額：上限 30 億円

➤ 予算根拠：機械装置等費、労務費、消耗品費等の費用について、過去の類似の研究開発事業³²を参考に試算。

（ii）持続可能な航空燃料（SAF）

【研究開発項目 2】持続可能な航空燃料（SAF）製造に係る技術開発

➤ 予算額：上限 299.5 億円

➤ 予算根拠：NEDO の既存事業（バイオジェット燃料生産技術開発事業）の実績から想定した費用等から試算。

○気体燃料（産業用・家庭用）

（iii）合成メタン

【研究開発項目 3】合成メタン製造に係る革新的技術開発

³⁰ 高効率な石油精製技術に係る研究開発支援事業費補助金（JXTG1305 非在来型原油および残渣油の 2 次装置反応性解析）https://www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2020/pr/en/enecho_nenryou_21.pdf

³¹ 日本 GTL 技術研究組合によって行われた GTL（Gas to Liquid：天然ガスから液体燃料を合成する手法）プロジェクトの実績を参考（<http://www.jogmec.go.jp/news/release/release0383.html>）

³² クリーンディーゼルエンジン技術の高度化に関する研究開発事業（平成 26 年度～平成 28 年度）等

- 予算額：上限 242.2 億円
- 予算根拠：NEDO の既存事業（次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電技術推進事業／CO₂ 有効利用技術の先導研究（CO₂ 直接分解）、カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術開発／CO₂ 有効利用技術開発事業）等の実績から想定した費用などから試算

（iv）グリーン LPG

【研究開発項目 4】化石燃料によらないグリーンな LP ガス合成技術の開発

- 予算額：上限 35.5 億円
- 予算根拠：実証プラントを設計・建設し、検証する予定であり、類似の研究開発として、GTL 合成の装置を参考に LPG 合成装置の費用を試算。精製・流通装置は、既存の装置・類似の装置（石油公団（現：（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構）勇払 GTL パイロットプラントプロジェクトで採用したフィールド実証装置等）を参考に費用を試算。

●取組状況が不十分な場合の国費負担額の返還率：返還が決定した時点における目標達成度を考慮し、WG において「10%、30%、50%」の 3 段階で評価

（参考）改訂履歴

- ・2022 年 1 月 制定